

## 建設技術研究開発助成制度

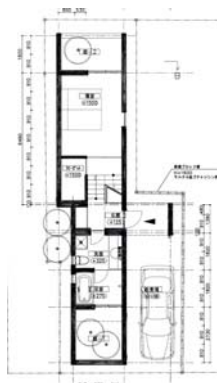
### 耐震性に優れ、狭小間口で自由な建築空間を可能にする木造新工法の研究開発

研究代表者：陶器浩一（滋賀県立大学環境科学部）

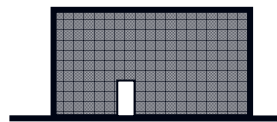
#### 1. はじめに

本研究は、狭小間口の小住宅を対象に、壁面全体と床面全体で面的な連続ラーメンを構成することにより間口方向に壁のない筒抜けの空間をつくる“木質面ラーメン構法”の開発である。

従来、木造住宅の耐震性能は筋交い、合板の面内せん断抵抗により確保してきた。狭小間口住宅で大きな地震被害が生じるのは、両方向に等しく壁量が必要という木造構法と狭小間口住宅の特性が合っていないということによる。すなわち、狭小間口住宅は建築形として長辺方向は必然的に十分な壁が存在するが、短辺方向は住空間としてはフレキシビリティの高い空間が望まれるにも関わらず空間を閉鎖する壁が必要となり、しかも幅の短い壁が並ぶこととなり数字上の壁量は満足されても十分な耐震性能が確保されず、耐震性・居住性とも課題があるのが現状である。



従来の木造住宅



長辺：十分な壁量



短辺：辻褄あわせの壁が並ぶ



木造住宅の大地震における被害



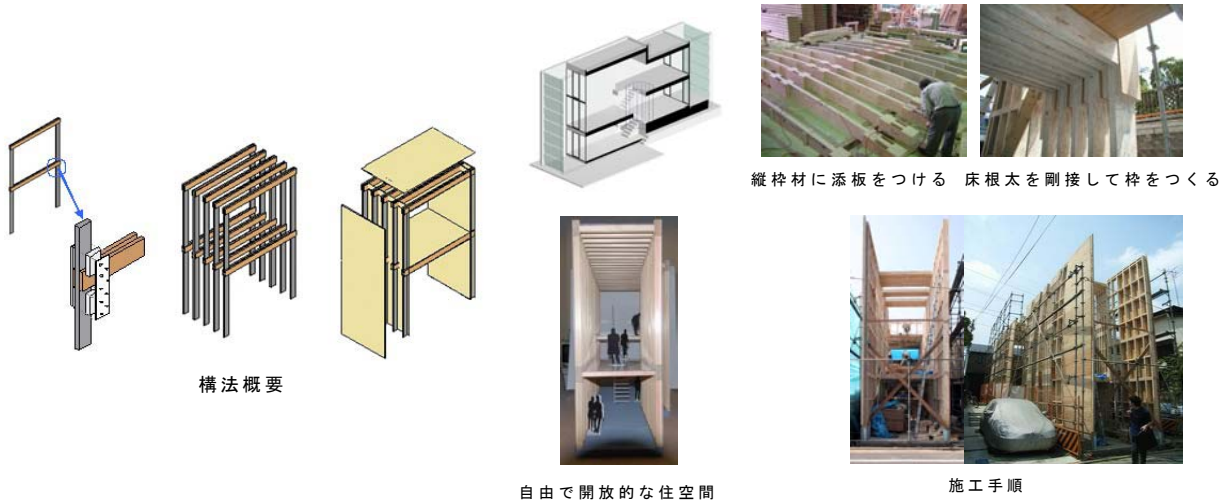
画一的な住空間

我々が開発した木造構法は、壁面全体と床面全体で面的な連続ラーメンを構成することにより間口方向に壁を全く用いることなく十分な耐震性能を確保するものである。

本構法を都市の住宅密集地における狭小間口住宅に適用すれば、限られた敷地の中で空間を閉鎖することなく開口幅を十分有効に活用した自由な居住空間を可能にする。また、合板やツーバイフォー規格材など、ごく一般的な材を使って実現する。特殊な材料や高度な技術を用いないので汎用性が高く、広く普及することが見込まれる。これにより、わが国の住宅環境における最大の課題である小住宅の付属性、居住環境向上に貢献するものである。

#### 2. 構法の概要

枠組壁構法で用いる縦枠材と床根太を合わせ梁形式で剛接し、添え板を付加することで剛性を高める。そのフレームを並べ、壁面および床面に合板を貼り付けて壁面全体と床面全体でサンドイッチパネルを作り、面ラーメンを構成する。



構法概要

自由で開放的な住空間

施工手順

### 3. 研究の流れ及び成果の概要

本構法では面材と枠材の接合方法、面と面の仕口接合方法が重要な要素となるので、接合材料、接合部ディテールをパラメーターに、合成板の曲げ試験、枠材接合部の曲げ試験、一層実大架構の水平加力試験、二層実大架構の水平加力試験、をおこない、素材、部材、架構レベルで構造性能（剛性、変形性能）を比較検討した。

まず、部材及び接合方法が架構性能に及ぼす影響を確認するため、釘の種類、接着の有無、架構形式をパラメーターに、要素レベル、部材レベル、架構レベルで実験をおこなった。そして、新構法としての設計施工法を確立し実建物への適応を図るため、これらの実験より得られた結果を基に略設計を行ったのちパラメーターを選定し、合成板の曲げ試験、接合部の曲げ試験、一層実大架構の水平加力試験、二層実大架構の水平加力試験を行った。合成板の曲げ試験、接合部の曲げ試験において設計に必要となる剛性および変形能力をデータを取り纏め、また、そのメカニズムについての検討を行った。一層、二層の実大架構試験において、種々の条件下での架構の構造特性を確認し、部材実験のデータを用いた解析結果と良い対応を示すこと、実建築に適応する際に問題点がないこと、および、一般の木造建築に比べて優れた変形能力を有することを確認した。また、架構実験の際に部材製作、現場組み立ての手順及び注意点につき検討を行った。

さらに実験結果を基に3層住宅の試設計をおこない、本研究開発で対象とした範囲内で実建物への適応が可能であることを確認した。

#### 実験の流れ



1. 合成板の曲げ試験

2. 接合部曲げ試験

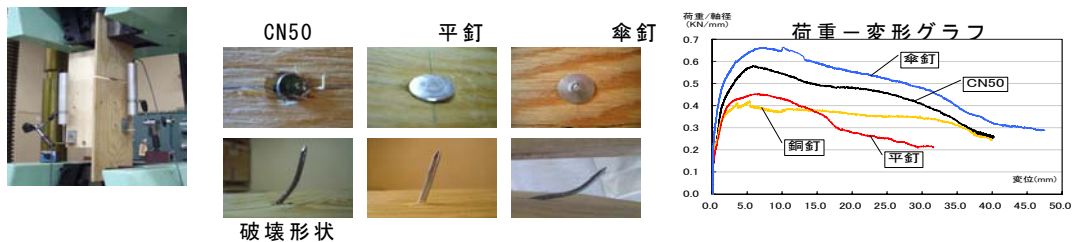
3. 一層実大架構試験

4. 二層実大架構試験

#### 4. 実験結果概要

##### ① 枠材一面材接合部のせん断試験

市販の釘を加工して釘の材質、形状をパラメーターに枠材一面材接合部のせん断試験をおこなった。通常の釘(CN50)は釘頭が面材を貫通することにより、また、釘頭を大きくしたもの(平釘)は枠材で抜け出しを生じ終局状態となる。これらに対して、頭が大きく細長い形状をしたもの(傘釘)は抜け出しや貫通を生じず釘軸部の曲げ変形による耐力が決定し、優れた変形性能を示した。

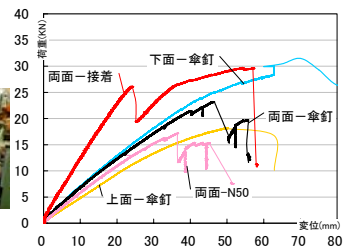
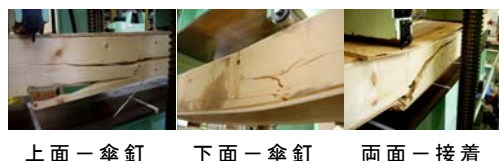


##### ② 合成板の曲げ試験

壁や床に使用する合成板の性能(曲げ剛性や変形能力)を明らかにすべく、合成板の曲げ試験を行った。

まず予備的な試験として、枠材と面材の接合方法(接着、傘釘、CN50釘)、面材の位置(上面、下面、両面)、枠材の背、の3要素をパラメーターに、枠材に合板を接合することで得られる合成効果を比較する。試験は2点集中荷重を載荷し、試験体中央部の最大たわみを計測した。上面(曲げ圧縮側)に合板を配したものは合成効果があまり得られないが、下面(曲げ引張側)に配したものは枠材破断後に全体破壊を抑えるのに大きな効果を発揮する。接着したものは釘接合に比べて初期剛性は高いが枠材破断と同時に面材も破断し、変形能力は劣る。

断面形状	接合方法	試験体数
上面	傘釘	3体
下面	傘釘	3体
両面	傘釘	3体
	CN50	2体
	接着	2体



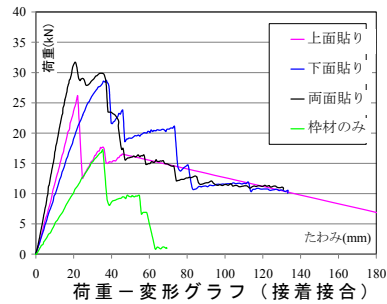
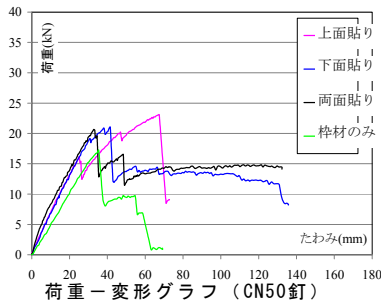
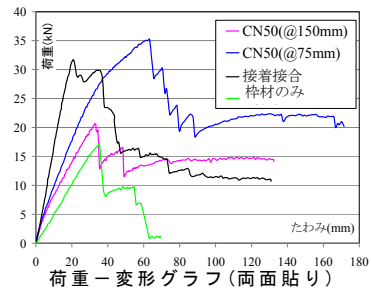
次に、面材の貼り方(上面、下面、両面)、枠材と面材の接合方法(CN50,接着+CN50)、枠材の背(206材,208材,210材)、枠材間隔(@455mm,@227.5mm)、釘間隔(@15mm,@7.5mm)の5要素をパラメーターとして試験をおこない、合成板の曲げ剛性および変形能力を比較検討する。尚、予備試験で釘頭が面材を貫通してしまう箇所が多く見られたため、面材の厚さを9mmから12mmへと変更した。

枠材そのものに対する合成板の曲げ剛性上昇率を一覧にして下記に示す。接着接合した合成板の上昇率は計算値とよく一致しており、片面貼りでは2倍、両面貼りでは3倍上昇している。CN50釘で接合した合成板の上昇率は、片面貼りでは35%、両面貼りでは50%であった。CN50釘剛性上昇率は接着接合に比べると5割程小さい。ただし、上昇率は枠材の背が大きくなる程小さくなる。今年度は面材の厚さを昨年度に比べて厚くしたため、接着接合したものでも急激な耐力低下はおこらず、面材の破壊もみられなかった。

試験体パラメーター



試験風景



最大荷重時の部材変形角一覧 (rad)

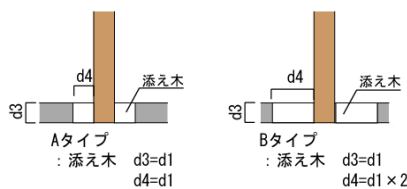
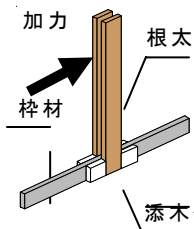
桀材間隔	接合方法	面材	桀材寸法	
			206(38*140)	208(38*184)
455	なし	なし	1/58	1/70
455	CN50 @150mm	上面貼	1/51	1/66
		下面貼	1/53	
		両面貼	1/56	1/57
	接着剤 +CN50 @150mm	上面貼	1/67	
		下面貼	1/64	1/75
		両面貼	1/106	
CN50 @75mm	上面貼			
	下面貼	1/54	1/59	
	両面貼	1/39		



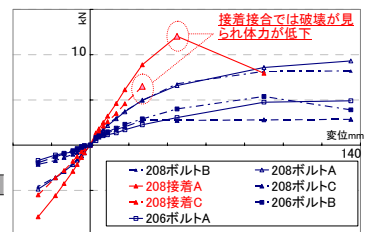
③接合部の曲げ試験

本工法の接合部では、添え木による貫効果と、ラグスクリューボルトによる併せ梁効果を期待している。各要素が接合部の回転剛性にどの程度効果を発揮しているのかを実験的に明らかにし、それぞれの回転剛性および変形能力を確認するため、接合部曲げ試験を行った。

まず予備的な試験として、添え木の形状、接合方法（ボルト、接着）をパラメーターに回転剛性や耐力を比較する。ボルト接合したものは添え木をつけることにより約1.6倍の剛性上昇が見られた。添え木長さを2倍にするとさらに1.3倍程度剛性が上昇する。接着したものは初期剛性は高いが変形能力は劣り、急激な耐力低下を生じる。



接合部形状



接合部試験骨格曲線

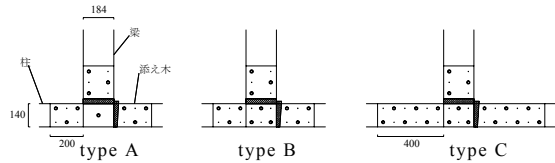
次に、ラグスクリューボルトの本数、添え木の長さ(200mm,400mm)、をパラメーターに各種6~7体ずつ、計19体で試験をおこない、それぞれの回転剛性を比較する。試験体パラメーターおよび実験結果を下記に示す。回転剛性に占めるそれぞれの効果の比率は変形レ



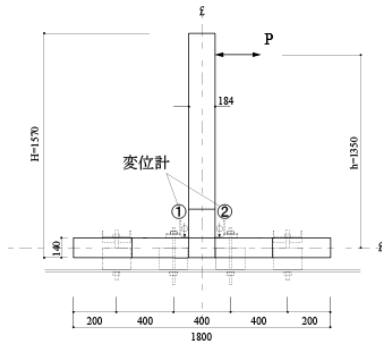
ベルにより変わるが、初期剛性時には概ね8.5 : 1.5であった。ただし大変形時には添え木の回転剛性は低下し、比率は6.5 : 3.5となる。また、添え木の長さが回転剛性に与える影響は顕著ではなかった。

試験体パラメーター

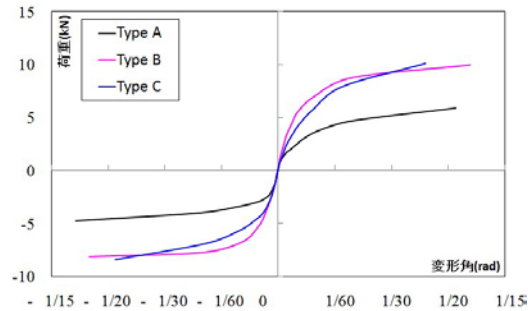
試験体(type)	柱	梁	添え木長さ(mm)	ボルト(本)	試験体数
A	206	208	200	1	6
B	206	208	200	6	7
C	206	208	400	6	6



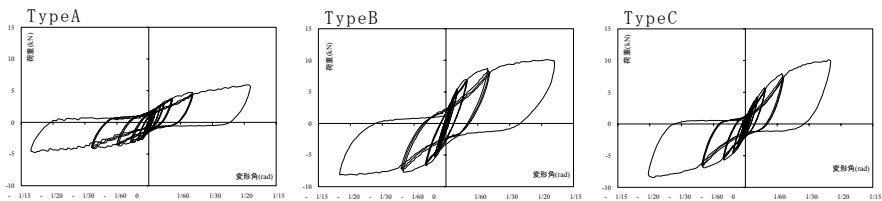
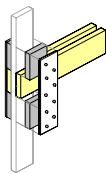
試験体詳細図



試験体設置図

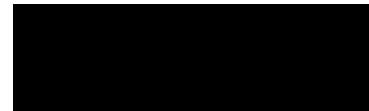


包絡曲線による比較



試験風景(左からType A, Type B, Type C)

各回転角における回転剛性一覧(kN・rad)



#### ④ 架構解析による検討

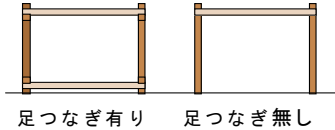
以上の実験結果を基に1層架構のモデルを作成し、架構解析を行った。架構全体の変形において、部材変形による架構変位と、接合部変形による架構変位それぞれの占める割合を求める。初期変形時(1/120 rad)においては、架構全体の変位に対する部材変形による変位と接合部変形による変位の比率は概ね8 : 2となり、一般の木造ラーメン工法に比べて接合部の剛性がかなり高いことが確認された。

#### ⑤ 一層実大架構の水平加力試験

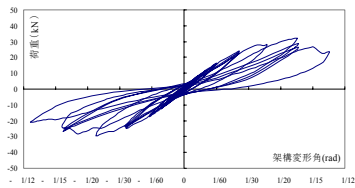
足元つなぎ材の有無、柱サイズ(206材,208材)、合板の張り方(片面、両面)、接合部形状(添え木長200mm,400mm)の4要素をパラメーターに、一層実大架構試験をおこなった。初期剛性の違いはみられなかったが、合板は枠材の破壊を抑える効果があり終局時の変形能力に違いがみられた。これらの架構実験の結果は部材・接合部実験より求めた結果を用いた架構解析の結果と良く対応していた。

試験体パラメーター

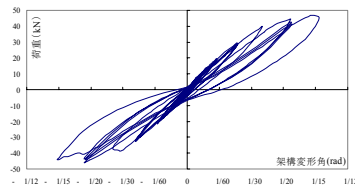
試験体No.	足つなぎ	柱	梁	柱ピッチ(mm)	添木長さ(mm)	合板	壁
1(基本形)	有	206	208	455.0	200	片面	無
2	無	208	208	227.5	200	片面	無
3	有	206	208	455.0	200	両面	無
4	有	206	208	455.0	400	片面	無
5	有	206	208	455.0	200	片面	間仕切壁
6	有	206	208	455.0	200	片面	制震壁



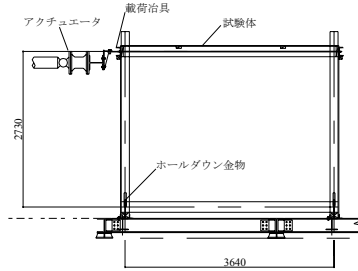
足つなぎ有り 足つなぎ無し



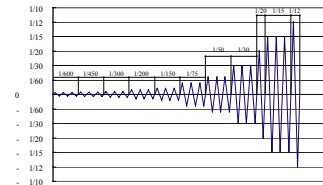
履歴曲線：基本形(足つなぎ有)



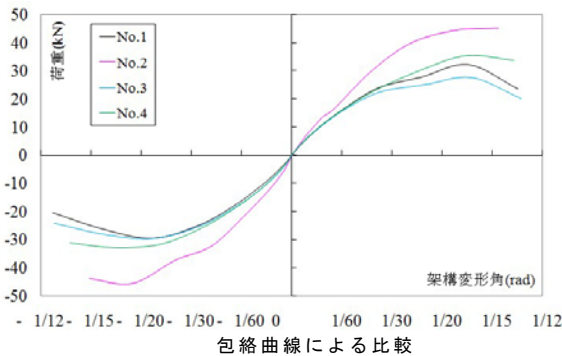
履歴曲線：足つなぎ無し



実大実験設置図



载荷スケジュール

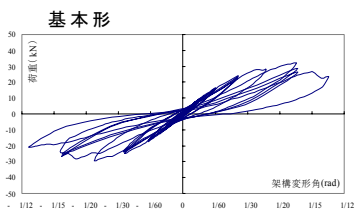


包絡曲線による比較

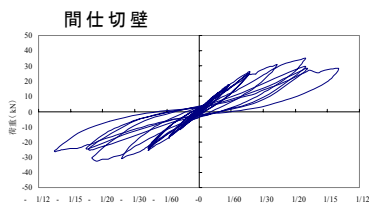


試験風景：左から、No.2 (足つなぎ無し)、No.1 (基本形)、No.6 (制振壁)

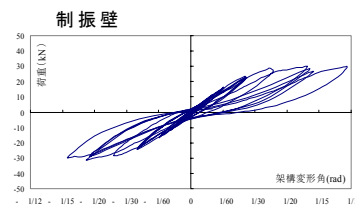
さらに、機能上必要な壁が取り付けられた時に、架構全体の挙動に及ぼす影響を把握するため、間仕切壁を取りつけたものと、間仕切壁の上下に制震部材を組み込んだもの、2種類の架構実験を行った。試験はそれぞれ1体ずつ、計2体の試験をおこなった。間仕切壁を取り付けることでねじれや終局耐力の低下が懸念されたが、胴縁の変形により架構変形を吸収し、架構全体の復元力に悪影響を及ぼすことはなかった。制震壁(VEM)を付けると、終局耐力が大きくなったが、制震壁を用いなくても通常的设计範囲内では間仕切壁に特別な工夫を要さなくても大きな問題は生じないことが確認できた。



基本形

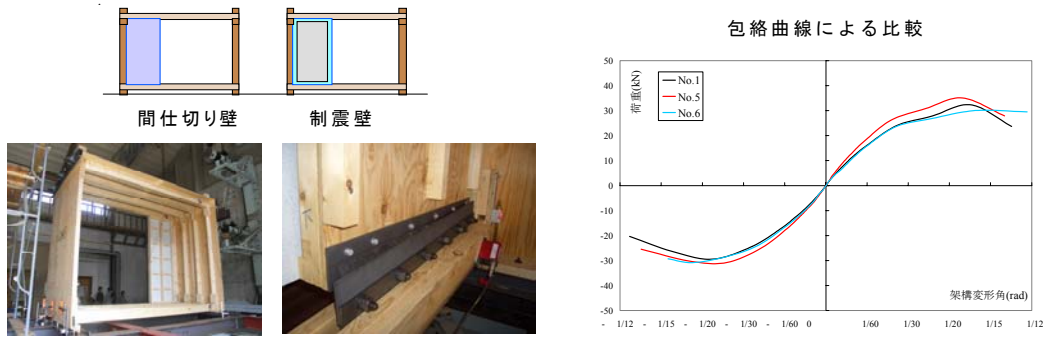


間仕切壁



制振壁

履歴曲線

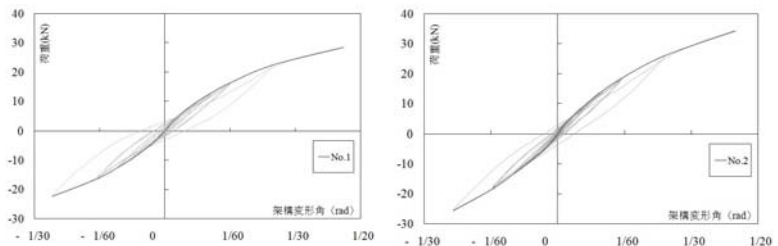
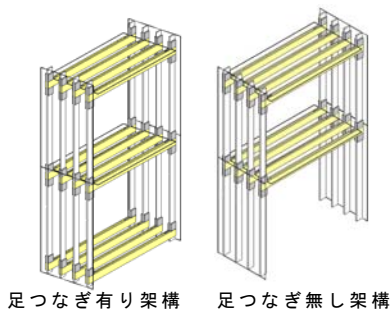


### ⑥二層実大架構の水平加力試験

連層となった時の架構全体の挙動を把握するために二層実大架構の水平加力試験をおこなった。試験体サイズは幅3.6m、高さ6m、奥行き1.8mとし、柱脚部を床根太でつないだものと、つながないものの2種類を用意した。柱脚部をつながないものは1階足元がピン柱脚となり、1層目の架構剛性を確保するため、縦枋材のサイズを208材とし、さらに枋材間隔を一般の半分としている。架構の変形角が1/120(rad)時における各層の耐力は、一層架構試験の結果と概ね同じ値を示し、また、変形角が1/30(rad)においても部材の目立った損傷はなく、安定した復元力を得ることができた。

試験体パラメーター

試験体No.	層	足つなぎ材	柱材	梁材	柱ピッチ(mm)	添木長さ(mm)	合板
No.1	一層	有	206×2	210	455.0	400	片面
	二層	有	206	208	455.0	200	片面
No.2	一層	無	208	210	227.5	400	片面
	二層	有	206	208	455.0	200	片面



履歴曲線 (左：足つなぎ有り、右：足つなぎ無し)



### 5. 研究の成果

一連の実験により種々の条件下での架構の構造特性を確認し、部材実験のデータを用いた解析結果と実架構実験結果は良い対応を示すこと、実建築に適応する際に問題点がないこと、および、一般の木造建築に比べて優れた変形能力を有することを確認した。また、架構実験の際に部材製作、現場組み立ての手順及び注意点につき検討を行った。さらに実験結果を基に3層住宅の試設計をおこない、本研究開発で対象とした範囲内で3層住宅としての必要な耐力を保持することが可能であり、実建物への適応が可能であることを確認した。